



(51) 国際特許分類7 H01S 5/343	A1	(11) 国際公開番号 WO00/42685 (43) 国際公開日 2000年7月20日 (20.07.00)
----------------------------	----	--

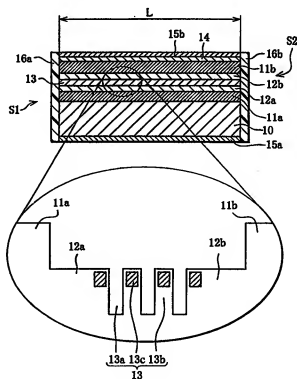
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP99/07063</p> <p>(22) 国際出願日 1999年12月16日 (16.12.99)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平11/4497 1999年1月11日 (11.01.99) JP 特願平11/118488 1999年4月26日 (26.04.99) JP</p> <p>(71) 出願人 古河電気工業株式会社 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP] 〒100-8322 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 清水 均 (SHIMIZU, Hitoshi) 熊田清仁 (KUMADA, Kouji) 粕川秋彦 (KASUKAWA, Akihiko) 〒100-8322 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 長門侃二 (NAGATO, Kanji) 〒105-0004 東京都港区新橋5丁目8番1号 SKKビル5階 Tokyo, (JP)</p>	<p>(81) 指定国 CA, JP, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
--	---

(54) Title: n-TYPE MODULATION DOPE MULTIPLE QUANTUM WELL SEMICONDUCTOR LASER

(54) 発明の名称 n型変調ドーピング多量子井井戸半導体レーザー素子

(57) Abstract

An n-type modulation dope multiple quantum well semiconductor laser having a multiple quantum well structure comprising a heterojunction structure of a well layer and a barrier layer, wherein the well layer is made of a nondoped semiconductor material, the barrier layer is made of a semiconductor material modulation-doped with an n-type dopant, a low-reflectance film is formed on the front edge face, a high-reflectance film is formed on the back edge face, the cavity length is 800 μm or more, and the mirror loss (α_m) expressed by $\alpha_m = (1/2L) \ln(1/(R_f R_r))$ (where L is the cavity length (cm), R_f is the reflectance of the front edge face, and R_r is the reflectance of the back edge face) is 15 cm⁻¹ or less. The output of the laser is high compared with conventional nondoped MQW semiconductor lasers, and the industrial value of the laser used as, e.g., a 1480-nm laser for EDFA excitation is high.



(57)要約

井戸層と障壁層とのヘテロ接合構造から成る多重量子井戸構造を有し、前記井戸層はノンドープの半導体材料で構成され、前記障壁層はn型ドーパントが変調ドーピングされている半導体材料で構成されており、前端面には低反射膜が形成され、後端面には高反射膜が形成されており、そして、

共振器長が800 μm以上であり、かつ、

$$\text{次式: } \alpha_m = \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_f \cdot R_r} \right)$$

(ただし、Lは共振器長 (cm)、R_fは前端面の反射率、R_rは後端面の反射率を表わす)

で示されるミラー損失 (α_m) が15 cm⁻¹以下の値になっているn型変調多重量子井戸半導体レーザ素子であって、従来からのノンドープMQW半導体レーザ素子に比べて高出力化しており、例えばEDFA励起用の1480 nmレーザ素子としてその工業的価値は大である。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	RU	ロシア
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサウ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	ML	マリ	TZ	タンザニア
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CI	コートジボワール	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	MZ	モザンビーク	VN	ヴェトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラヴィア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CY	キプロス	JP	日本	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CU	キューバ	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド		
CZ	チェコ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	KR	韓国	RO	ルーマニア		

明 細 書

n型変調ドーブ多重量子井戸半導体レーザ素子

5 技術分野

本発明は、600～1650nmの波長帯域で発光するn型変調ドーブ多重量子井戸半導体レーザ素子に関し、更に詳しくは、従来から知られている半導体レーザ素子に比べると、より高出力で発振するn型変調ドーブ多重量子井戸半導体レーザ素子に関する。

10

背景技術

多重量子井戸半導体レーザ素子は、高出力で発振を達成することが可能であり、それは半導体材料から成る厚みがnmオーダーの低バンドギャップエネルギーを有する井戸層と、同じく厚みがnmオーダーでそのバンドギャップエネルギーが、

15 井戸層を構成する半導体材料よりも高い半導体材料から成る障壁層とを交互にヘテロ接合した多重量子井戸（以後、MQWと記す）構造を活性層とし、バルク活性層を有する半導体レーザ素子に比べて低いしきい値電流で発振する。

このレーザ素子は、所定の半導体基板の上に、エピタキシャル結晶成長法で下部クラッド層、下部光閉じ込め層、上記した活性層が順次成膜され、更にその活性層の上に上部光閉じ込め層、上部クラッド層、およびコンタクト層が順次形成された層構造を有している。

20

そして、この層構造に対しては、ある決められた所定の共振器長となるような劈開が行われ、出射端面になる一方の劈開面（前端面）には例えば SiN_x から成る単層の低反射膜が成膜され、他方の劈開面（後端面）には例えば $\alpha\text{-Si}$ 層

25 と SiN_x 層を交互に積層して成る高反射膜が成膜され、そして前記半導体基板の裏面には例えば Au-Ge/Ni/Au から成るn型電極が形成され、コンタクト層の上には例えば Ti/Pt/Au から成るp型電極がオーミック接合した

状態で形成されている。

このようなMQW半導体レーザ素子は、バルク活性層を有する半導体レーザ素子に比べて高出力で発振する。しかし、MQW半導体レーザ素子を例えばErドープファイバ増幅器(EDFA)を励起するポンピングレーザ素子として用いる場合には、更なる高出力化が要求されている。

ここで、従来から知られている1300nm帯域で発振する高出力MQW半導体レーザ素子における上記活性層の近傍の層構造例Aを、伝導体のエネルギーバンド図として第1図に示す。

この層構造Aは、n型InPから成るn型下部クラッド層1aとp型InPから成るp型上部クラッド層1bの間に形成されており、バンドギャップ波長(λ_g)が1.1 μm である組成のGaInAsPから成る厚み120nmの下部光閉じ込め層2aと、同じく λ_g が1.1 μm である組成のGaInAsPから成る厚み120nmの上部光閉じ込め層2bとの間に、3個の量子井戸を有する活性層が介装された構造になっている。

そして、この活性層は、1.45%の圧縮歪みを有するノンドープのInAsPから成る厚み8nmの井戸層3aと、各井戸層の間に成膜され、バンドギャップ波長(λ_g)が1.1 μm である組成のノンドープInGaAsPから成る厚み10nmの障壁層3bで構成されている。

ところで、このMQW構造において、井戸層はノンドープ状態のままにし、障壁層にn型ドーパントを選択的に変調ドーピングすることにより、レーザ性能の向上が可能であることが魚見によって理論予測されている(K. Uomi, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 29, No. 1, January, 1990, pp81~87を参照)。

魚見の理論予測によれば、障壁層をn型に変調ドーピングすると、変調ドーピングをしない場合(ノンドープの場合)に比べて透明化に要する注入キャリア密度は大きく減少する。

したがって、このn型変調ドーパされた活性層を有するレーザ素子の場合、その両端面に高反射膜を成膜してミラー損失を低くすれば、ノンドープのMQW構

造を有するレーザ素子に比べてしきい値電流は低くなる。

しかしながら、魚見が提案しているn型変調ドーブMQW半導体レーザ素子の場合、その共振器長が200 μm以下と短いものであり、また両端面に高反射膜を成膜することにより、しきい値電流も1 mA以下程度にすることが目標とされている。

本発明の目的は、上記したn型変調ドーブMQW半導体レーザ素子において、後述する各種のパラメータを制御することにより、従来のn型変調ドーブMQW半導体レーザ素子に比べると、より一層、高出力で発振するn型変調ドーブMQW半導体レーザ素子を提供することである。

- 10 本発明の他の目的は、井戸層を構成する半導体材料を選択することにより、600～1650 nmの波長帯域内の各種の波長で発光するn型変調ドーブMQW半導体レーザ素子を提供することである。

発明の開示

- 15 上記した目的を達成するために、本発明においては、下記からなるn型変調ドーブ多重量子井戸半導体レーザ素子：
- 井戸層と障壁層とのヘテロ接合構造からなる多重量子井戸構造を有する；
前記井戸層はノンドープの半導体材料で構成され、前記障壁層はn型ドーバントが変調ドーピングされている半導体材料で構成されている；
- 20 前端面には低反射膜が形成され、後端面には高反射膜が形成されている；そして、共振器長が800 μm以上であり、かつ、

$$\text{次式： } \alpha_m = \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_f \cdot R_r} \right)$$

(ただし、Lは共振器長 (cm)、R_fは前端面の反射率、R_rは後端面の反射率を表わす)

- 25 で示されるミラー損失 (α_m) が15 cm⁻¹以下の値になっている、が提供される。

具体的には、前記障壁層におけるn型ドーパントのドーピング濃度が $5 \times 10^{17} \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、また、前記前端面の反射率(R_f)は1~10%で、かつ前記後端面の反射率(R_r)は80~100%であるn型変調ドーブ多重量子井戸半導体レーザ素子である。

- 5 そして、前記MQW構造は歪み補償型の井戸層で構成してもよく、前記n型ドーパントがSi、SeまたはSnであることを好適とし、更に前記井戸層の数が1~15個であるn型変調ドーブ多重量子井戸半導体レーザ素子としてもよい。

- 10 そして、本発明においては、前記井戸層をInAsPで構成することにより、1200~1650nmの波長帯域で発光するn型変調ドーブ多重量子井戸半導体レーザ素子、前記井戸層をGaInAsで構成することにより、900~1650nmの波長帯域で発光するn型変調ドーブ多重量子井戸半導体レーザ素子、前記井戸層をGaInAsPで構成することにより、700~1650nmの波長帯域で発光するn型変調ドーブ多重量子井戸半導体レーザ素子、前記井戸層をGaInAsで構成することにより、800~1400nmの波長帯域で発光するn型変調ドーブ多重量子井戸半導体レーザ素子、前記井戸層をAlGaInAsで構成することにより、600~1650nmの波長帯域で発光するn型変調ドーブ多重量子井戸半導体レーザ素子が提供される。

上記した目的を達成するために、本発明者らは次のような実験を行ない、その結果、以下のような知見を得た。

- 20 まず、第1図で示した層構造を有するノンドープMQW半導体レーザ素子Aにおいて、各障壁層3bの中央部に、Siをn型ドーパントとして選択的に変調ドーピングを行うことにより、厚みが7nmである変調ドーブ部を有するn型変調ドーブMQW半導体レーザ素子Bを製造した。

- 25 この素子Bの活性層近傍における層構造をエネルギーバンド図として第2図に示す。第2図において、各障壁層3bの中央には厚み7nmの変調ドーブ部3cが形成され、また、下部・上部光閉じ込め層2a、2bにも井戸層3の接合界面から1.5nm隔離した位置に厚み7nmの変調ドーブ部3cが形成されている。

素子Bと、第1図で示した素子Aにつき、次式：

$$\alpha_m = \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_f \cdot R_r} \right)$$

(ただし、Lは共振器長 (cm)、R_fは前端面の反射率、R_rは後端面の反射率を表す)

- 5 で示されるミラー損失 (cm⁻¹) としきい値電流密度 (J_{th}: A/cm²) との関係調べた。その結果を第3図に示す。

第3図において、○印の直線aはノンドープの素子Aの場合を示し、●印の直線b1は、Siの変調ドーピング濃度が1×10¹⁸cm⁻³である素子Bの場合を示し、△印の直線b2はSiの変調ドーピング濃度が5×10¹⁸cm⁻³である素

- 10 子Bの場合を示している。

第3図から明らかなように、ドーピング濃度が1×10¹⁸cm⁻³である素子Bの場合、ミラー損失 (α_m) が15cm⁻¹より低い低ミラー損失領域ではしきい値電流密度 (J_{th}) がノンドープの素子Aの場合よりも低くなっている。すなわち、井戸層1個当たりのしきい値注入キャリア密度も低くなっている。しかしな

15 がら、ドーピング濃度が5×10¹⁸cm⁻³と高濃度になると上記した効果は得られていない。

したがって、共振器長 (L)、前端面の反射率 (R_f)、後端面の反射率 (R_r) を適切に選定してミラー損失 (α_m) が15cm⁻¹以下となるように設計し、かつ、障壁層3bに5×10¹⁷~3×10¹⁸cm⁻³の濃度範囲でn型ドーパント

20 を変調ドーピングすれば、井戸層1個当たりのしきい値注入キャリア密度は低くなり、ノンドープの素子に比べて低しきい値となるので高出力なレーザ素子にすることができる。

また、前記した素子B (ドーピング濃度1×10¹⁸cm⁻³のもの) と素子Aにつき、共振器長 (L) を変化させたものを製造し、次式：

$$1/\eta_d = 1/\eta_i \left\{ 1 + \frac{\alpha_i \cdot L}{1 - n \left(\frac{1}{R} \right)} \right\} \quad \dots(2)$$

(ただし、 η_i は内部効率、 R は平均反射率、 α_i は内部損失を表す)

に基づき、外部微分量子効率の逆数 ($1/\eta_d$) と共振器長 (L) の関係をプロットした。その結果を第4図に示す。

- 5 第4図において、○印の直線cは素子Aの場合を示し、■印の直線dは素子Bの場合を示している。

そして、第4図における各直線の勾配から内部損失 (α_i) を算出した。その結果、ノンドープの素子Aの内部損失 (α_i) は 6.0 cm^{-1} であり、素子Bの内部損失 (α_i) は 4.6 cm^{-1} と見積もられた。すなわち、素子Bの内部損失 (α_i) は、
10 ノンドープの素子Aの内部損失 (α_i) に対して約23%低減することが判明した。

このことは、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング濃度付近、すなわち、 $5 \times 10^{17} \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でn型ドーパントを変調ドーピングすることにより、スロープ効率が向上し、高出力化が可能であることを示している。

- 15 更に、本発明者らは、高出力のレーザ素子を製造しようとした場合、素子としての共振器長 (L) が短すぎると活性層の電気抵抗が大きくなり、素子作動時にp型電極から注入される電流で抵抗発熱して光出力の熱飽和を起こすことも考慮した。そして、(1)式で算出されるミラー損失 (α_m) が 15 cm^{-1} 以下になることを前提としつつ、適正な共振器長 (L) についての検討を加え、活性層の電気抵抗を下げるためには、共振器長 (L) を $800 \mu\text{m}$ 以上に設定すべきである
20 ことを見出した。

本発明は、上記した実験とそれに基づく上記考察から導出されたものである。

まず、第5図に、本発明素子の層構造の1例を示す。図において、半導体基板10の上に、下部クラッド層11a、下部光閉じ込め層12a、活性層13、上

部光閉じ込め層 12 b, 上部クラッド層 11 b, コンタクト層 14 がこの順序で積層されている。これらの層は、いずれも後述するような半導体材料で構成され、ガスソース MBE 法, MBE 法, CBE 法, MOCVD 法などのエピタキシャル結晶成長法で成膜される。

- 5 そして、基板 10 の裏面には電極 (n 型電極) 15 a が形成され、コンタクト層 14 の上には電極 (p 型電極) 15 b がオーミック接合した状態で形成され、また、前端面 (出射端面) S1 には、例えば SiN_x 単層から成る低反射膜 16 a が成膜され、後端面 S2 には例えば $\alpha\text{-Si}$ 層と SiN_x 層を交互に複数層積層して成る高反射膜 16 b が成膜されている。

- 10 活性層 13 は、ノンドープの半導体材料から成る井戸層 13 a と、n 型ドーパントが変調ドーピングされた半導体材料から成る障壁層 13 b とのヘテロ接合構造を有する MQW 構造になっている。

例えば、井戸層 13 a が 3 個である場合の活性層 13 の層構造は、そのエネルギーバンド図で示したように、中央部が n 型変調ドーピング部 13 c になっている障

- 15 壁層 13 b を有する MQW 構造になっている。しかし、この井戸層の数は上記したような 3 個に限定されるものではなく、1~15 個の範囲内にあればよい。

なお、第 5 図で示した n 型変調ドーピングは、障壁層 3 b の一部である 3 c に行った例であるが、n 型変調ドーピングはこの態様に限定されるものではなく、障壁層 3 b 全体にドーピングしてもよく、また障壁層 3 b の中央部ではなくドー

- 20 プ箇所が上・下に偏っていてもよい。

障壁部 13 b の変調ドーピングされる n 型ドーパントとしては、例えば Si や Se をあげることができる。

そして、そのドーピング濃度は $5 \times 10^{17} \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ に設定される。ドーピング濃度を $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ より低くすると、(1) 式から算出されるミ

- 25 ラー損失 (α_m) が 15 cm^{-1} 以下となるように共振器長 (L), 低反射膜 16 a の反射率 (Rf), 高反射膜 16 b の反射率 (Rr) を選定したとしても、ノンドープ状態の素子に比べてしきい値電流密度 (J_{th}) が低くならないからであ

る。また、ドーピング濃度が $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より高くなると、同様に、ミラー損失 (α_m) を 15 cm^{-1} 以下に選択したとしても、ノンドープ状態の素子に比べてしきい値電流密度 (J_{th}) が小さくならないからである。

好ましいドーピング濃度は $1 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

- 5 なお、活性層 13 は、歪み補償型の MQW で形成してもよい。歪み補償型であると、井戸数を最大 30 位まで増加することができるからである。

素子としての共振器長 (L) は $800 \mu\text{m}$ 以上に設定される。共振器長 (L) が $800 \mu\text{m}$ より短くなると、活性層 13 の電気抵抗が大きくなり、注入電流の大きさによっては活性層 13 の抵抗発熱が進み、光出力の熱飽和を引き起こすこともあるからである。

- 10 また、前端面における低反射膜 16a の反射率 (Rf) は、1~10% に設定される。Rf 値を 1% より低くすると、しきい値電流密度 (J_{th}) が大きくなるため最高飽和出力が大きにならないというような問題が生じ、また Rf 値を 10% より高くすると、前端面 (出射端面) からの光出力が弱くなるため、やはり、
15 最高飽和出力を大きくできないというような問題が生ずるからである。

後端面における高反射膜 16b の反射率 (Rr) は 80~100% に設定される。80% より低くすると、前端面 (出射端面) からの光出力が弱くなり、後端面からの光出力が強くなるからである。

- 本発明のレーザ素子において、共振器長 (L)、低反射膜 16a の反射率 (Rf)、および高反射膜 16b の反射率 (Rr) は、いずれも、上記した値に設定
20 されるが、その場合でも、(1) 式に基づいて算出されるミラー損失 (α_m) が 15 cm^{-1} 以下となるような値にそれぞれ設定されることが必要である。

- このようなレーザ素子において、井戸層 13a の半導体材料として InAsP を用いると $1200 \sim 1650 \text{ nm}$ 、GaInNAs を用いると $900 \sim 1650 \text{ nm}$ 、GaInAsP を用いると $700 \sim 1650 \text{ nm}$ 、GaInAs を用いると $800 \sim 1400 \text{ nm}$ 、AlGaInAs を用いると $600 \sim 1650 \text{ nm}$ の波
25 長帯域でそれぞれ発振させることができる。

図面の簡単な説明

第1図は、従来のノンドープMQW半導体レーザ素子の活性層近傍の層構造を示すエネルギーバンド図；

- 5 第2図は、本発明のレーザ素子における活性層の近傍における層構造を示すエネルギーバンド図；

第3図は、MQW半導体レーザ素子におけるしきい値電流密度とミラー損失の関係を示すグラフ；

- 第4図は、MQW半導体レーザ素子における外部微分量子効率の逆数と共振器長との関係を示すグラフ；

第5図は、本発明のレーザ素子（実施例1）の層構造を示す概略図と活性層の層構造を示すエネルギーバンド図；

第6図は、実施例のレーザ素子の全体構造例を示す斜視図；

第7図は、実施例1のレーザ素子の光出力－電流特性を示すグラフ；

- 15 第8図は、本発明のレーザ素子（実施例2）の層構造を示す概略図と活性層の層構造を示すエネルギーバンド図；

第9図は、本発明のレーザ素子（実施例3）の層構造を示す概略図と活性層の層構造を示すエネルギーバンド図；である。

- 20 発明を実施するための最良の形態

実施例1

1300nmの波長帯域で発振し、第5図で示した層構造を有する本発明のn型変調ドープMQW半導体レーザ素子を次のようにして製造した。

- 25 n型InPから成る基板10の(100)面に、n型InPから成る厚み0.6μmのn型クラッド層11a、格子整合系のIn_{0.86}Ga_{0.14}As_{0.306}P_{0.694} (λ_g=1.1μm) から成る厚み0.12μmの下部光閉じ込め層12aを順次成膜し、更にその上に後述する活性層13を成膜したのち、In_{0.86}G

$a_{0.14}As_{0.306}P_{0.694}$ ($\lambda g = 1.1 \mu m$) から成る厚み $0.12 \mu m$ の上部
光閉じ込め層 12b, p 型 InP から成る厚み $2 \mu m$ の p 型クラッド層 11b,
p 型 InGaAs から成る厚み $0.4 \mu m$ のコンタクト層 14 を順次成膜した。

活性層 13 は、1.45% の圧縮歪みを有し、ノンドープ InAs_{0.45}P_{0.55}
から成る厚み 8nm の 3 個の井戸層 13a と、これら井戸層 13a の間に形成さ
れ、In_{0.86}Ga_{0.14}As_{0.306}P_{0.694} ($\lambda g = 1.1 \mu m$) から成り、中央
部に厚み 7nm で Si の n 型変調ドープ部 (ドーピング濃度: $1 \times 10^{18} cm^{-3}$)
13c を有する障壁層 13b で構成した。すなわち、この活性層 13 は第 5 図で
示したエネルギーバンド図を有するような構造になっている。

得られた積層構造に対しフォトリソグラフィーとメサエッチングを行い、活
性層 13 の幅が $1.2 \mu m$ である埋込みヘテロ型の素子構造を製造し、更に、リー
ク電流を低減させるために、埋込みヘテロを含むストライプ部を幅 $30 \mu m$ 残し
て基板 10 までエッチング除去し、トレンチ構造にした。

ついで、コンタクト層 14 の上に Ti/Pt/Au (または Au-Zn) から
成る p 型電極 15b を形成し、基板 10 の裏面を研磨して全体の厚みを $100 \mu m$
程度にしたのち、その研磨面に Au-Ge/Ni/Au から成る n 型電極 15
a を形成した。

その後、全体を劈開して共振器長 (L) を $1200 \mu m$ に設定し、前端面 (出
射端面) S1 に反射率 (Rf) が 5% の SiN_x 単層 16a を成膜し、他の劈開
面 (後端面) S2 に反射率 (Rr) が 96% となるような $\alpha-Si/SiN_x$ から
成る高反射膜 16b を成膜して第 6 図で示した素子を製造した。

なお、この素子は、(1) 式で算出されるミラー損失 (α_m) が $12.7 cm^{-1}$

$$\left[\frac{1}{2 \times 0.12} \ln \left[\frac{1}{0.05 \times 0.96} \right] \right]$$

になっている。

比較のために、障壁層 13b に変調ドープ部 13c を形成しなかったことを除
いては、実施例と同様にしてレーザ素子 (ノンドープ) を製造した。

これら2種類のレーザ素子につき、光出力-電流特性を調べた。その結果を第7図に示す。第7図から明らかなように、これらのレーザ素子は、いずれも、注入電流が約1Aで光出力は飽和状態に達している。その場合、従来のノンドープレーザ素子の光出力は280mW程度になっているが、実施例のレーザ素子の光出力は330nm程度であり、高出力化が達成されている。

以上の実施例では、障壁層の半導体材料として格子整合系である $\lambda g = 1.1 \mu m$ のものを用いたが、 λg が $0.65 \mu m$ 以上で、かつ井戸層13aのバンドギャップ波長よりも小さい材料を用いることもでき、また格子整合系に限定されず歪み系の材料であっても良い。また、井戸層にはInAsPを用いたが、GaInAsP, AlGaInAs, GaInNAsなどを用いてもよい。

n型クラッド層11a, p型クラッド層11bにはInPを用いたが、InPに格子整合する $Al_{0.48}In_{0.52}As$ を用いてもよい。また、光閉じ込め層としてはSCHの代わりにGRIN-SCHを用いてもよい。

実施例2

1480nmの波長帯域で発振し、第8図で示した層構造を有する本発明のn型変調ドープMQW半導体レーザ素子を次のようにして製造した。

n型InPから成る基板10の(100)面に、n型InPから成る厚み $0.6 \mu m$ のn型クラッド層11a, 下部GRIN-SCH21a, 活性層22, 上部GRIN-SCH21bを順次成膜し、更にその上に、p型InPから成る厚み $2 \mu m$ のp型クラッド層11b, p型InGaAsから厚み $0.4 \mu m$ のコンタクト層14を順次成膜した。

下部GRIN-SCH21aは、格子整合系の $In_{0.86}Ga_{0.14}As_{0.306}P_{0.694}$ ($\lambda g = 1.1 \mu m$) から成る厚み20nmの層21a₁と、格子整合系の $In_{0.792}Ga_{0.208}As_{0.453}P_{0.547}$ ($\lambda g = 1.2 \mu m$) から成る厚み20nmの層21a₂とをこの順序で積層して構成されている。また、上部GRIN-SCH21bは、後述する活性層22に対して下部GRIN-SCH21aと

対称の層構造になっている。具体的には、格子整合系の $\text{In}_{0.792}\text{Ga}_{0.208}\text{As}_{0.453}\text{P}_{0.547}$ ($\lambda g = 1.2 \mu\text{m}$) から成る厚み 20 nm の層 $21b_2$ と格子整合系の $\text{In}_{0.86}\text{Ga}_{0.14}\text{As}_{0.306}\text{P}_{0.694}$ ($\lambda g = 1.1 \mu\text{m}$) から成る厚み 20 nm の層 $21b_1$ とがこの順序で積層された層である。

- 5 活性層 22 は、 1% の圧縮歪みを有し、ノンドープ $\text{Ga}_{0.183}\text{In}_{0.817}\text{As}_{0.699}\text{P}_{0.301}$ ($\lambda g = 1.55 \mu\text{m}$) から成る厚み 4 nm の 5 個の井戸層 $22a$ と、これら井戸層 $22a$ の間に形成され、 $\text{In}_{0.792}\text{Ga}_{0.208}\text{As}_{0.453}\text{P}_{0.547}$ ($\lambda g = 1.2 \mu\text{m}$) から成り、中央部に厚み 7 nm で Si の n 型変調ドープ部 (ドーピング濃度: $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) $22c$ を有する厚み 10 nm の障壁層 $22b$ で構成した。すなわち、この活性層 22 は第 8 図で示したエネルギーバンド図を有する構造になっている。

得られた積層構造に対しフォトリソグラフィーとメサエッチングを行い、活性層 22 の幅が $1.2 \mu\text{m}$ である埋込みヘテロ型の素子構造を製造し、実施例 1 の場合と同様にしてトレンチ構造にした。

- 15 ついで、コンタクト層 14 の上に $\text{Ti}/\text{Pt}/\text{Au}$ (または $\text{Au}-\text{Zn}$) から成る p 型電極 $15b$ を形成し、基板 10 の裏面を研磨して全体の厚みを $100 \mu\text{m}$ 程度にしたのち、その研磨面に $\text{Au}-\text{Ge}/\text{Ni}/\text{Au}$ から成る n 型電極 $15a$ を形成した。

- その後、全体を劈開して共振器長 (L) を $1200 \mu\text{m}$ に設定し、前端面 (出
20 射端面) $S1$ に反射率 (R_f) が 5% の SiN_x 単層 $16a$ を成膜し、他の劈開面 (後端面) $S2$ に反射率 (R_r) が 96% となるような $\alpha\text{-Si}/\text{SiN}_x$ から成る高反射膜 $16b$ を成膜して、全体構造が第 6 図で示した素子を製造した。

なお、この素子のミラー損失 (α_m) は 12.7 cm^{-1} になっている。

- 得られた素子につき、その光出力-電流特性を調べたところ、実施例 1 の場合
25 と同様で飽和光出力は約 15% 増加し、高出力化していた。

実施例 3

980 nmの波長帯域で発振し、第9図で示した層構造を有する本発明のn型変調ドープMQW半導体レーザ素子を次のようにして製造した。

- n型GaAsから成る基板30の(100)面に、n型Al_{0.3}Ga_{0.7}Asから成る下部クラッド層31a₁、n型Al_{0.1}Ga_{0.9}Asから成る厚み30 nmの下部光閉じ込め層31a₂、GaAsから成る厚み15 nmの光閉じ込め層32a、活性層33、GaAsから成る厚み15 nmの光閉じ込め層32b、p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Asから成る厚み30 nmの上部光閉じ込め層31b₂、p型Al_{0.3}Ga_{0.7}Asから成る上部クラッド層31b₁を順次成膜し、更にその上に、p型GaAsから成る厚み0.3 μmのコンタクト層34を順次成膜した。
- 10 活性層33は、1.4%の圧縮歪みを有し、ノンドープGa_{0.81}In_{0.19}Asから成る厚み7 nmの2個の井戸層33aと、これら井戸層33aの間に形成され、GaAsから成り、中央部に厚み7 nmでSiのn型変調ドープ部(ドーピング濃度: $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 33cを有する厚み10 nmの障壁層33bで構成した。すなわち、この活性層は第9図で示したエネルギーバンド図を有する構造
- 15 になっている。

得られた積層構造に対してはフォトリソグラフィーとメサエッチングを行い、活性層幅3 μmのリッジ導波路型レーザを作製した。なお、共振器長(L)は1000 μmに設定した。そして、前端面の反射率は8%、後端面の反射率は96%にした。

- 20 なお、この素子のミラー損失(α_m)は 12.8 cm^{-1} になっている。

得られた素子につき、その光出力-電流特性を調べたところ、実施例1の場合と同様に飽和光出力はノンドープのレーザ素子に比べて約15%増加し、高出力化していた。

- 25 以上の実施例では主として埋込みヘテロ型の素子構造を示したが、本発明の素子構造はこれに限定されるものではなく、リッジ導波路型の素子構造やTJS型であってもよい。

更に実施例のレーザ素子としては1300 nm, 1480 nm, 980 nmの波長

帯域で発振するものを示したが、本発明のレーザ素子の構造は、波長帯域が1650nm, 1550nm, 850nm, 780nm, 680nm, 630nm, 600nmのMQWレーザ素子にも適用することができる。なお、波長帯域が600~1000nmの短波長の場合には、基板は主としてGaAsを用いればよい。

5

産業上の利用可能性

本発明のn型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子は、従来の半導体レーザ素子に比べると、より高出力で発振し、また井戸層の半導体材料を変化させることにより、600~1650nmの波長帯域で発光する。このレーザ素子は、例えばEDFA励起用の1480nmレーザ素子としてその工業的価値は大である。

10

請 求 の 範 囲

1. 下記から成る n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子：

井戸層と障壁層とのヘテロ接合構造から成る多重量子井戸構造を有する；

- 5 前記井戸層はノンドープの半導体材料で構成され、前記障壁層は n 型ドーパントが変調ドーピングされている半導体材料で構成されている；
前端面には低反射膜が形成され、後端面には高反射膜が形成されている；そして、共振器長が $800\text{ }\mu\text{m}$ 以上であり、かつ、

$$\text{次式：}\alpha_m = \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_f \cdot R_r} \right)$$

- 10 (ただし、L は共振器長 (cm)、R f は前端面の反射率、R r は後端面の反射率を表わす)

で示されるミラー損失 (α_m) が 15 cm^{-1} 以下の値になっている。

2. クレーム 1 の n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子において、前記障壁層における n 型ドーパントのドーピング濃度が $5 \times 10^{17} \sim 3 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$

- 15 $^{-3}$ である。

3. クレーム 1 の n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子において、前記障壁層における n 型ドーパントのドーピング濃度が $1 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ である。

4. クレーム 1 の n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子において、前記
20 前端面の反射率 (R f) が $1 \sim 10\%$ であり、かつ、前記後端面の反射率が $80 \sim 100\%$ である。

5. クレーム 1 の n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子において、前記 n 型ドーパントが Si、Se または Sn である。

6. クレーム 1 の n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子において、前記
25 井戸層の数が $1 \sim 15$ 個である。

7. クレーム 1 の n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子において、前記

多重量子井戸構造が歪み補償型の多重量子井戸構造である。

8. クレーム 1～7 のいずれかの n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子において、

前記井戸層は InAsP で構成されていて、1200～1650 nm の波長帯域で発光する。

9. クレーム 1～7 のいずれかの n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子において、

前記井戸層は GaInAs で構成されていて、900～1650 nm の波長帯域で発光する。

10. クレーム 1～7 のいずれかの n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子において、

前記井戸層は GaInAsP で構成されていて、700～1650 nm の波長帯域で発光する。

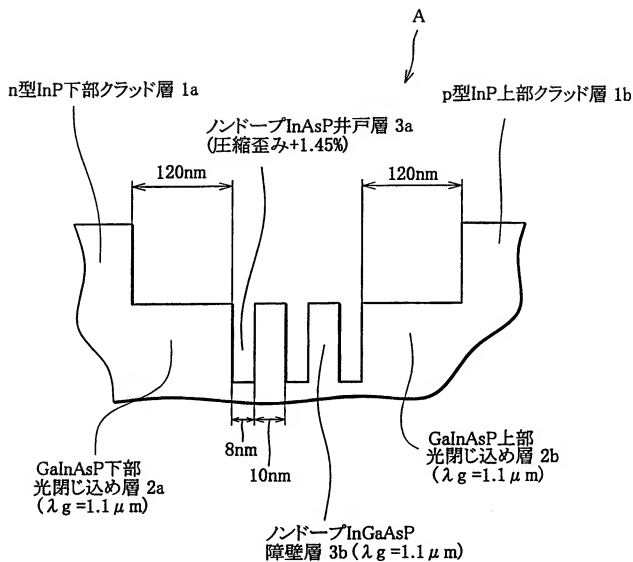
11. クレーム 1～7 のいずれかの n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子において、

前記井戸層は GaInAs で構成されていて、800～1400 nm の波長帯域で発光する。

12. クレーム 1～7 のいずれかの n 型変調ドープ多重量子井戸半導体レーザ素子において、

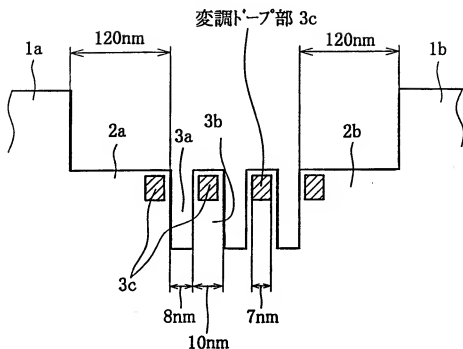
前記井戸層は AlGaInAs で構成されていて、600～1650 nm の波長帯域で発光する。

第 1 図

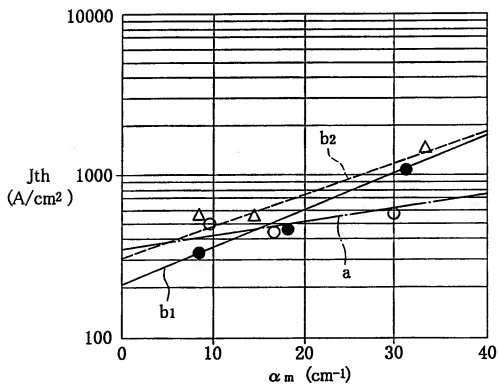


2/7

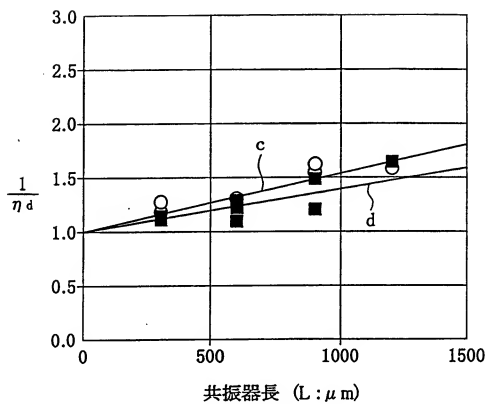
第 2 図



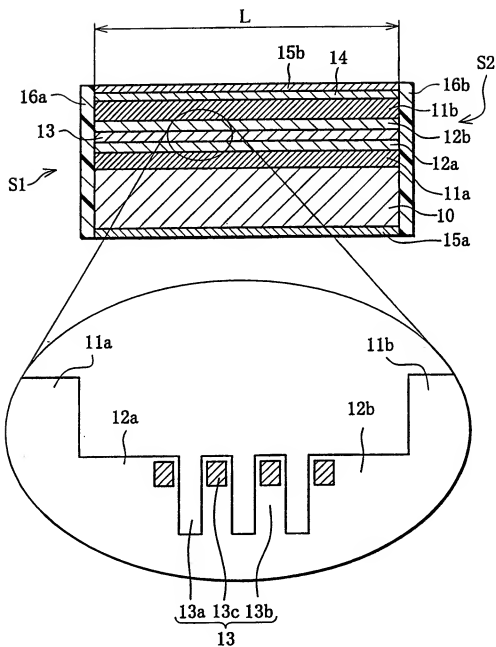
第 3 図



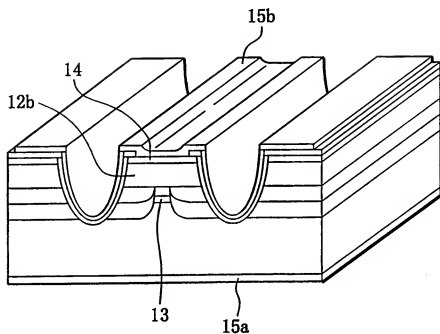
第 4 図



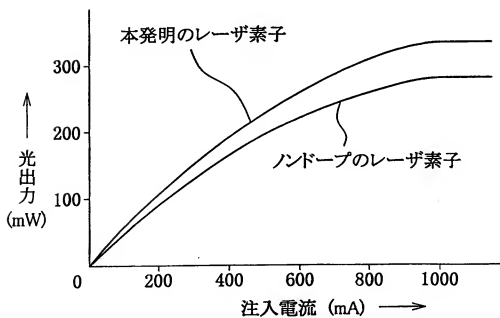
第 5 図



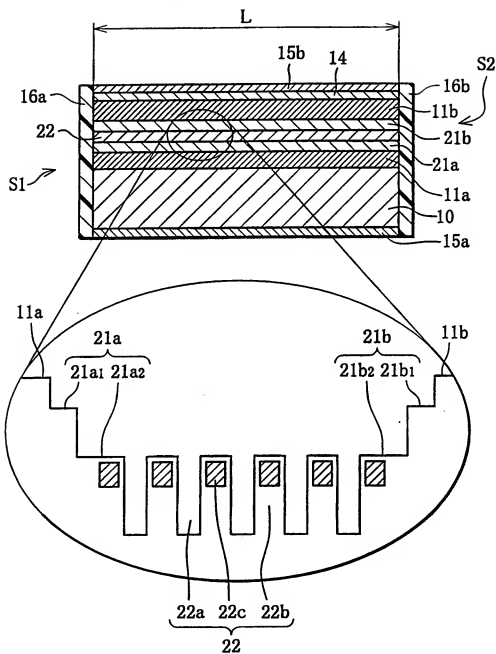
第 6 図



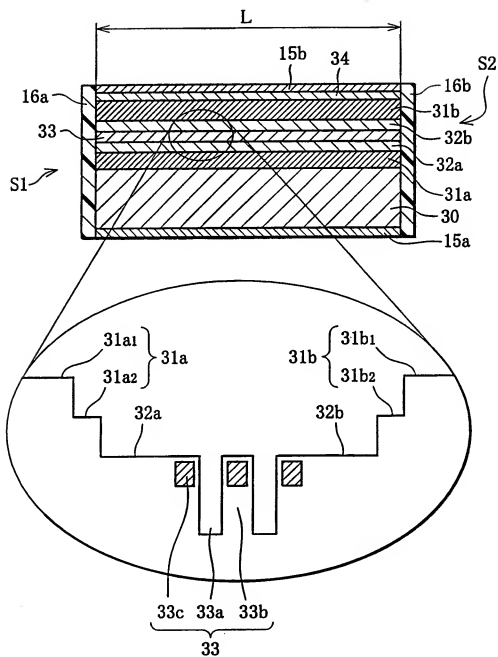
第 7 図



第 8 図



第 9 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/07063

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. ⁷ H01S 5/343		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl. ⁷ H01S 5/00 - 5/40		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1965-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 9-232666, A (Hitachi, Ltd.), 05 September, 1997 (05.09.97), Par. No. 0005 (Family: none) Par. No. 0007	1, 4-9, 11, 12 2, 3, 10
Y	JP, 7-122812, A (Fujitsu Limited), 12 May, 1995 (12.05.95), Par. No. 0021 (Family: none)	1-10, 12, 11
Y	JP, 4-152583, A (Hitachi, Ltd.), 26 May, 1992 (26.05.92) (Family: none)	1-12
Y	JP, 3-192789, A (NEC Corporation), 22 August, 1991 (22.08.91), Fig. 5, (a) (Family: none)	1-12
Y	US, 5497389, A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 05 March, 1996 (05.03.96), Column 10; lines 42 to 61 & JP, 7-74427, A	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 13 March, 2000 (13.03.00)		Date of mailing of the international search report 28 March, 2000 (28.03.00)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/07063

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP, 254568, A2 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKIKAISHA), 27 January, 1988 (27.01.88) & JP, 63-32985, A US, 4817110, A	1-12
Y	JP, 6-310803, A (Sony Corporation), 04 November, 1994 (04.11.94), Par. No. 0004 (Family: none)	4, 8-12
Y	JP, 10-22564, A (NEC Corporation), 23 January, 1998 (23.01.98), Par. No. 0013 (Family: none)	8
Y	JP, 10-200207, A (NEC Corporation), 03 July, 1998 (03.07.98), Fig. 2 (Family: none)	8
Y	JP, 10-126004, A (Ricoh Company, Ltd.), 15 May, 1998 (15.05.98), Par. No. 0019 (Family: none) Fig. 9	7, 9
Y	JP, 10-84170, A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 31 March, 1998 (31.03.98), Par. No. 0013 (Family: none)	12

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl. ⁷ H01S 5/343			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl. ⁷ H01S 5/00 - 5/40			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1965-1996 日本国公開実用新案公報 1971-2000 日本国実用新案登録公報 1996-2000 日本国登録実用新案公報 1994-2000			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
Y	JP, 9-232666, A (株式会社 日立製作所) (05.09.97) (ファミリーなし)	5.9月.1997 段落0005 段落0007	1, 4-9, 11, 12 2, 3 10
Y	JP, 7-122812, A (富士通株式会社) (12.05.95) (ファミリーなし)	12.5月.1995 段落0021	1-10, 12 11
Y	JP, 4-152583, A (株式会社 日立製作所) (26.05.92) (ファミリーなし)	26.5月.1992	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリ 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 13.03.00		国際調査報告の発送日 28.03.00	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 近藤 幸浩 一印 電話番号 03-3581-1101 内線 3253	

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 3-192789, A (日本電気株式会社) (22. 08. 91) (ファミリーなし)	22. 8月. 1991 第5図(a) 1-12
Y	US, 5497389, A (The Furukawa Electric Co., Ltd.) 5. 3月. 1996 (05. 03. 96) & JP, 7-74427, A 第10欄、第42-61行	1-12
A	EP, 254568, A2 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKIKAI) 27. 1月. 1988 (27. 01. 88) & JP, 63-32985, A US, 4817110, A	1-12
Y	JP, 6-310803, A (ソニー株式会社) (04. 11. 94) (ファミリーなし)	4. 11月. 1994 段落0004 4, 8-12
Y	JP, 10-22564, A (日本電気株式会社) (23. 01. 98) (ファミリーなし)	23. 1月. 1998 段落0013 8
Y	JP, 10-200207, A (日本電気株式会社) (03. 07. 98) (ファミリーなし)	31. 7月. 1998 図2 8
Y	JP, 10-126004, A (株式会社リコー) (15. 05. 98) (ファミリーなし)	15. 5月. 1998 段落0019 図9 7 9
Y	JP, 10-84170, A (古河電気工業株式会社) (31. 03. 98) (ファミリーなし)	31. 3月. 1998 段落0013 12